

3 / Priority  
No.  
E. Willis  
3-30-01

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Daijiro INOUE et al.**

Serial Number: **Not Yet Assigned**

Filed: **December 26, 2000**

For: **SEMICONDUCTOR LASER DEVICE**



**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Director of Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

December 26, 2000

Sir:

The benefits of the filing dates of the following prior foreign applications is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**Japanese Appln. No. 11-374497, filed on December 28, 1999; and**

**Japanese Appln. No. 2000-092303, filed on March 29, 2000.**

In support of this claim, the requisite certified copies of said original foreign applications are filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copies.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,  
ARMSTRONG, WESTERMAN, HATTORI  
McLELAND & NAUGHTON

A handwritten signature in cursive script, reading "Le-Nhung McLeland".

Le-Nhung McLeland  
Reg. No. 31,541

Atty. Docket No.: 001700  
Suite 1000, 1725 K Street, N.W.  
Washington, D.C. 20006  
Tel: (202) 659-2930  
Fax: (202) 887-0357  
LNM/yap

## 日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年12月28日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第374497号

出 願 人

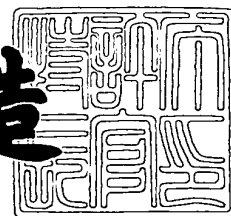
Applicant (s):

三洋電機株式会社

2000年11月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3090209

【書類名】 特許願

【整理番号】 NBA0991057

【提出日】 平成11年12月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/025

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会社  
社内

【氏名】 井上 大二郎

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会社  
社内

【氏名】 廣山 良治

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会社  
社内

【氏名】 竹内 邦生

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会社  
社内

【氏名】 野村 康彦

【特許出願人】

【識別番号】 000001889

【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100098305

【弁理士】

【氏名又は名称】 福島 祥人

【電話番号】 06-6330-5625

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 032920

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9403774

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層上に第 1 導電型の第 1 のクラッド層が設けられ、電流注入領域を除いて前記第 1 のクラッド層上に第 2 導電型の電流ブロック層が設けられ、前記第 1 のクラッド層と前記電流ブロック層との間における前記電流ブロック層側に前記電流ブロック層よりも低いキャリア濃度を有する低キャリア濃度層が設けられるとともに前記第 1 のクラッド層と前記電流ブロック層との間における前記第 1 のクラッド層側に前記低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積を阻止するキャリア蓄積防止層が設けられたことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記第 1 のクラッド層、前記キャリア蓄積防止層および前記低キャリア濃度層のバンドギャップがこの順に小さくなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記第 1 のクラッド層は、前記活性層上に形成された平坦部と、前記電流注入領域における前記平坦部上に形成されたリッジ部とを有し、前記キャリア蓄積防止層は、前記リッジ部の両側における前記平坦部上および前記リッジ部の側面上に形成され、前記低キャリア濃度層および前記電流ブロック層は、前記キャリア蓄積防止層上に順に形成されたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 前記キャリア蓄積防止層の厚さが 10 nm 以上であることを特徴とする請求項 3 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】 前記キャリア蓄積防止層の厚さが 15 nm 以上であることを特徴とする請求項 4 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】 前記キャリア蓄積防止層は、前記第 1 のクラッド層上に形成され、前記電流注入領域における前記キャリア蓄積防止層上にリッジ状の第 1 導電型の第 2 のクラッド層がさらに設けられ、前記低キャリア濃度層および前記電流ブロック層は、前記第 2 のクラッド層の両側における前記キャリア蓄積防止層上および前記第 2 のクラッド層の側面上に順に形成されたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記キャリア蓄積防止層、前記低キャリア濃度層および前記電流ブロック層は前記電流注入領域を除いて前記第 1 のクラッド層上に順に形成され、前記電流注入領域において前記キャリア蓄積防止層、前記低キャリア濃度層および前記電流ブロック層の側面と前記第 1 のクラッド層の上面とで囲まれた空間を埋め込むように第 1 導電型の第 2 のクラッド層が設けられたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】 前記キャリア蓄積防止層の厚さが 15 nm 以上であることを特徴とする請求項 6 または 7 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】 前記キャリア蓄積防止層の厚さが 20 nm 以上であることを特徴とする請求項 8 記載の半導体レーザ素子。

【請求項 10】 前記キャリア蓄積防止層は単層構造または超格子構造を有することを特徴とする請求項 1～9 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 11】 前記活性層は  $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{y1}In_{1-y1}P$  からなる層を含み、前記キャリア蓄積防止層は  $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y2}In_{1-y2}P$  または  $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$  からなり、前記低キャリア濃度層は  $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y3}In_{1-y3}P$  または  $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$  からなり、前記電流ブロック層は  $(Al_{x4}Ga_{1-x4})_{y4}In_{1-y4}P$  または  $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$  からなり、前記  $x1$ 、前記  $x2$ 、前記  $x3$ 、前記  $x4$ 、前記  $y1$ 、前記  $y2$ 、前記  $y3$  および前記  $y4$  はそれぞれ 0 以上 1 以下であることを特徴とする請求項 1～10 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 12】 前記活性層は  $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$  からなる層を含み、前記キャリア蓄積防止層は  $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$  からなり、前記低キャリア濃度層は  $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$  からなり、前記電流ブロック層は  $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$  からなり、前記  $x1$ 、前記  $x2$ 、前記  $x3$  および前記  $x4$  はそれぞれ 0 以上 1 以下であることを特徴とする請求項 1～10 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 13】 前記活性層は  $In_{x1}Ga_{1-x1}N$  からなり、前記キャリア蓄積防止層は  $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$  からなり、前記低キャリア濃度層は  $Al_{x3}Ga_{1-x3}N$  からなり、前記電流ブロック層は  $Al_{x4}Ga_{1-x4}N$  からなり、前記  $x1$ 、前記  $x2$ 、前記  $x3$  および前記  $x4$  はそれぞれ 0 以上 1 以下であることを特徴とする

請求項 1 ～ 1 0 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 1 4】 前記活性層は  $(A_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{y_1}In_{1-y_1}P$  からなる層を含み、前記キャリア蓄積防止層は  $(A_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{y_2}In_{1-y_2}P$  からなり、前記低キャリア濃度層は  $A_{1-x_3}Ga_{1-x_3}As$  からなり、前記電流ブロック層は  $A_{1-x_4}Ga_{1-x_4}As$  からなり、前記  $x_1$ 、前記  $x_2$ 、前記  $x_3$ 、前記  $x_4$ 、前記  $y_1$  および前記  $y_2$  はそれぞれ 0 以上 1 以下であり、第 1 導電型が p 型であり、第 2 導電型が n 型であることを特徴とする請求項 1 ～ 1 0 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、屈折率導波構造を有する半導体レーザ素子に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来より、光導波路を形成するために活性層に平行な方向に屈折率差が与えられた屈折率導波構造の半導体レーザ素子が開発されている。図 2 3 は、特開平 8 - 2 2 2 8 0 1 号公報に記載された従来の半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0 0 0 3】

図 2 3 の半導体レーザ素子 1 2 0 においては、n 型基板 1 2 1 上に n 型クラッド層 1 2 2、活性層 1 2 3、p 型クラッド層 1 2 4 および p 型コンタクト層 1 2 7 が順に形成され、p 型コンタクト層 1 2 7 および p 型クラッド層 1 2 4 がエッチングされてリッジ部およびそのリッジ部両側に平坦部が形成されている。

【0 0 0 4】

さらに、p 型クラッド層 1 2 4 のリッジ部の両側の平坦部上に低キャリア濃度層 1 2 5 が形成され、低キャリア濃度層 1 2 5 上に n 型電流ブロック層 1 2 6 が形成されている。p 型コンタクト層 1 2 7 上および n 型電流ブロック層 1 2 6 上に p 型コンタクト層 1 2 8 が形成されている。

【0 0 0 5】

半導体レーザ素子 1 2 0 の駆動時に、n 型電流ブロック層 1 2 6 と p 型クラッド層 1 2 4 との間における p n 接合部に逆バイアスが印加される。それにより、n 型電流ブロック層 1 2 6 により電流が遮断され、リッジ部に電流が狭窄されて注入される。

【0 0 0 6】

一般に、n 型電流ブロック層と p 型クラッド層との間に形成される p n 接合部は大きな電気容量を有するので、半導体レーザ素子の高速動作を阻害する要因になっている。p n 接合部の電気容量は、その p n 接合部におけるキャリア濃度が高い程大きくなる。

【0 0 0 7】

そこで、図 2 3 の半導体レーザ素子 1 2 0 においては、n 型電流ブロック層 1 2 6 と p 型クラッド層 1 2 4 との間の p n 接合部における電気容量を低減するために、低キャリア濃度層 1 2 5 が設けられている。

【0 0 0 8】

この低キャリア濃度層 1 2 5 は、n 型電流ブロック層 1 2 6 より低いキャリア濃度を有する。そのため、この低キャリア濃度層 1 2 5 により n 型電流ブロック層 1 2 6 と p 型クラッド層 1 2 4 との間の p n 接合部に空乏領域が形成され、電気容量が低減する。それにより、半導体レーザ素子 1 2 0 の高速動作が可能となる。

【0 0 0 9】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、複素屈折率導波構造の半導体レーザ素子では、n 型電流ブロック層および低キャリア濃度層のバンドギャップを p 型クラッド層のバンドギャップよりも小さくし、活性層により発生される光を n 型電流ブロック層および低キャリア濃度層で吸収させることにより横モード制御を行っている。

【0 0 1 0】

図 2 4 は複素屈折率導波構造の半導体レーザ素子における p 型クラッド層および低キャリア濃度層の価電子帯のエネルギーバンド図を模式的に表したものである。図 2 4 に示すように、低キャリア濃度層のバンドギャップが p 型クラッド層



のバンドキャップよりも十分小さいため、p型クラッド層から低キャリア濃度層にキャリアが注入されて蓄積されやすくなる。低キャリア濃度層にキャリアが蓄積されることにより、pn接合部における空乏化が阻害される。その結果、n型電流ブロック層とp型クラッド層との間のpn接合部における電気容量が増加し、高速動作化が十分に図れない。

## 【0011】

本発明の目的は、高速動作化が十分に図られた半導体レーザ素子を提供することである。

## 【0012】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

本発明に係る半導体レーザ素子は、活性層上に第1導電型の第1のクラッド層が設けられ、電流注入領域を除いて第1のクラッド層上に第2導電型の電流ブロック層が設けられ、第1のクラッド層と電流ブロック層との間における電流ブロック層側に電流ブロック層よりも低いキャリア濃度を有する低キャリア濃度層が設けられるとともに第1のクラッド層と電流ブロック層との間における第1のクラッド層側に低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積を阻止するキャリア蓄積防止層が設けられたものである。

## 【0013】

本発明に係る半導体レーザ素子においては、キャリア蓄積防止層により第1のクラッド層から低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積が阻止される。それにより、低キャリア濃度層の空乏状態が保たれる。したがって、電流ブロック層と第1のクラッド層との間の電気容量が小さく保たれ、半導体レーザ素子の高速動作化が十分に図られる。

## 【0014】

第1のクラッド層、キャリア蓄積防止層および低キャリア濃度層のバンドギャップがこの順に小さくなってもよい。

## 【0015】

それにより、大きなバンドギャップを有する第1のクラッド層と小さなバンドギャップを有する低キャリア濃度層との間に中間のバンドギャップを有するキャ

リア蓄積防止層が設けられる。

【0016】

この場合、第1のクラッド層とキャリア蓄積防止層とのエネルギー差が第1のクラッド層と低キャリア濃度層とのエネルギー差に比べて小さくなるので、第1のクラッド層からキャリア蓄積防止層へキャリアが注入されにくくなり、さらに低キャリア濃度層へはキャリアが注入されにくくなる。また、第1のクラッド層から低キャリア濃度層とキャリア蓄積防止層との両方にキャリアが分かれて注入されるので、低キャリア濃度層へ蓄積されるキャリアの量が少なくなる。このようにして、キャリア蓄積防止層のバンドギャップを低キャリア濃度層と第1のクラッド層との中間の値に設定するという簡単な構成で低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積を阻止することができる。

【0017】

第1のクラッド層は活性層上に形成された平坦部と、電流注入領域における平坦部上に形成されたリッジ部とを有し、キャリア蓄積防止層は、リッジ部の両側における平坦部上およびリッジ部の側面上に形成され、低キャリア濃度層および電流ブロック層は、キャリア蓄積防止層上に順に形成されてもよい。

【0018】

この場合、キャリア蓄積防止層により第1のクラッド層の平坦部から低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積が阻止される。それにより、低キャリア濃度層の空乏状態が保たれ、第1のクラッド層の平坦部と電流ブロック層との間の電気容量が小さく保たれる。

【0019】

キャリア蓄積防止層の厚さが10 nm以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がより向上する。

【0020】

キャリア蓄積防止層の厚さは15 nm以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がさらに向上する。

【0021】

キャリア蓄積防止層は、第1のクラッド層上に形成され、電流注入領域におけ

るキャリア蓄積防止層上にリッジ状の第 1 導電型の第 2 のクラッド層がさらに設けられ、低キャリア濃度層および電流ブロック層は、第 2 のクラッド層の両側におけるキャリア蓄積防止層上および第 2 のクラッド層の側面上に順に形成されてもよい。

【0022】

この場合、キャリア蓄積防止層により第 1 のクラッド層から低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積が阻止される。それにより、低キャリア濃度層の空乏状態が保たれ、第 1 のクラッド層と電流ブロック層との間の電気容量が小さく保たれる。

【0023】

キャリア蓄積防止層の厚さが 15 nm 以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がより向上する。

【0024】

キャリア蓄積防止層の厚さが 20 nm 以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がさらに向上する。

【0025】

キャリア蓄積防止層、低キャリア濃度層および電流ブロック層は電流注入領域を除いて第 1 のクラッド層上に順に形成され、電流注入領域においてキャリア蓄積防止層、低キャリア濃度層および電流ブロック層の側面と第 1 のクラッド層の上面とで囲まれた空間を埋め込むように第 1 導電型の第 2 のクラッド層が設けられてもよい。

【0026】

この場合、キャリア蓄積防止層により第 1 のクラッド層から低キャリア濃度層へのキャリアの蓄積が阻止される。それにより、低キャリア濃度層の空乏状態が保たれ、第 1 のクラッド層と電流ブロック層との間の電気容量が小さく保たれる。

【0027】

キャリア蓄積防止層の厚さが 15 nm 以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がより向上する。

## 【0028】

キャリア蓄積防止層の厚さが20nm以上であることが好ましい。それにより、半導体レーザ素子の高周波特性がさらに向上する。

## 【0029】

キャリア蓄積防止層は単層構造または超格子構造を有してもよい。

活性層は $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{y1}In_{1-y1}P$ からなる層を含み、キャリア蓄積防止層は $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y2}In_{1-y2}P$ または $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$ からなり、低キャリア濃度層は $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y3}In_{1-y3}P$ または $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$ からなり、電流ブロック層は $(Al_{x4}Ga_{1-x4})_{y4}In_{1-y4}P$ または $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$ からなり、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$ 、 $x4$ 、 $y1$ 、 $y2$ 、 $y3$ および $y4$ はそれぞれ0以上1以下であってもよい。

## 【0030】

活性層は $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$ からなる層を含み、キャリア蓄積防止層は $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$ からなり、低キャリア濃度層は $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$ からなり、電流ブロック層は $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$ からなり、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$ および $x4$ はそれぞれ0以上1以下であってもよい。

## 【0031】

活性層は $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ からなり、キャリア蓄積防止層は $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ からなり、低キャリア濃度層は $Al_{x3}Ga_{1-x3}N$ からなり電流ブロック層は $Al_{x4}Ga_{1-x4}N$ からなり、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$ および $x4$ はそれぞれ0以上1以下であってもよい。

## 【0032】

活性層は $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{y1}In_{1-y1}P$ からなる層を含み、キャリア蓄積防止層は $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y2}In_{1-y2}P$ からなり、低キャリア濃度層は $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$ からなり、電流ブロック層は $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$ からなり、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$ 、 $x4$ 、 $y1$ および $y2$ はそれぞれ0以上1以下であり、第1導電型がp型であり、第2導電型がn型であることが好ましい。

## 【0033】

この場合には、キャリア蓄積防止層により第1のクラッド層から低キャリア濃

度層へのキャリアの蓄積が阻止されることによる高周波特性の改善が特に顕著になる。

【0034】

【発明の実施の形態】

(1) 第1の実施の形態

図1は本発明の第1の実施の形態における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0035】

図1に示す半導体レーザ素子においては、 $n$ -GaAs基板1上に、 $n$ -( $Al_{0.7}Ga_{0.3}$ ) $_{0.5}In_{0.5}P$ からなる厚さ1500nmの $n$ -クラッド層2、および後述する発光層14が順に形成されている。発光層14上に、 $p$ -( $Al_{0.7}Ga_{0.3}$ ) $_{0.5}In_{0.5}P$ からなる厚さ1500nmの $p$ -クラッド層6および $p$ -Ga $_{0.5}In_{0.5}P$ からなる厚さ200nmの $p$ -コンタクト層7が順に形成されている。これらの $p$ -クラッド層6および $p$ -コンタクト層7がエッチングされてリッジ部が形成されている。

【0036】

$n$ -GaAs基板1のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $n$ -クラッド層2のキャリア濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $p$ -クラッド層6のキャリア濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $p$ -コンタクト層7のキャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0037】

さらに、リッジ部の上面にストライプ状開口部を有する厚さ $t$ のキャリア蓄積防止層8が $p$ -クラッド層6上に形成されている。リッジ部の上面にストライプ状開口部を有するGaAsからなる厚さ1000nmの低キャリア濃度層9がキャリア蓄積防止層8上に形成されている。リッジ部の上面にストライプ状開口部を有する $n$ -GaAsからなる厚さ500nmの $n$ -電流ブロック層10が低キャリア濃度層9上に形成されている。 $n$ -電流ブロック層10のキャリア濃度は $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。低キャリア濃度層9のキャリア濃度は $n$ -電流ブロック層10のキャリア濃度よりも低い。

【0038】

n-電流ブロック層10のストライプ状開口部内のp-コンタクト層7上およびn-電流ブロック層10上に、p-GaAsからなる厚さ3000nmのp-コンタクト層11が形成されている。p-コンタクト層11のキャリア濃度は $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。p-コンタクト層11上に厚さ300nmのp側電極12が形成される。n-GaAs基板1の裏面に厚さ300nmのn側電極13が形成されている。

## 【0039】

発光層14は、n-クラッド層2上に形成された $(\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ からなる厚さ30nmのガイド層3、このガイド層3上に形成された量子井戸活性層4、およびこの量子井戸活性層4上に形成された $(\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ からなる厚さ30nmのガイド層5を含む。

## 【0040】

量子井戸活性層4は、 $\text{Ga}_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ からなる厚さ5nmの複数の量子井戸層15と $(\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ からなる厚さ5nmの複数の障壁層16とが交互に積層されてなる超格子構造を有する。例えば、障壁層16の数は2であり、量子井戸層15の数は3である。

## 【0041】

上記の構成をまとめて表1に示す。

## 【0042】

【表 1】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaAs基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
		( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pガイド層	30		3
	量子井戸 活性層	$\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}$ P井戸層	5		15
		( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}$ P障壁層	5		16
		( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pガイド層	30		5
		p-( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	6
		p- $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pコンタクト層	200	$2 \times 10^{18}$	7
		$\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}$ Pキャリア蓄積防止層	t		8
		GaAs低キャリア濃度層	1000		9
		n-GaAs電流ブロック層	500	$8 \times 10^{17}$	10
		p-GaAsコンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	11
		p側電極	300		12
		n側電極	300		13

【0043】

図2は図1の半導体レーザ素子におけるp-クラッド層6、キャリア蓄積防止層8および低キャリア濃度層9の価電子帯のエネルギーバンド図を模式的に表したものである。

【0044】

図2に示すように、p-クラッド層6、キャリア蓄積防止層8および低キャリア濃度層9のバンドギャップは、この順に小さくなる。そのため、p-クラッド層6とそれに接するキャリア蓄積防止層8とのエネルギー差がp-クラッド層6と低キャリア濃度層9とのエネルギー差に比べて小さくなり、キャリアがp-ク

ラッド層 6 からキャリア蓄積防止層 8 へ注入されにくくなり、さらに低キャリア濃度層 9 へも注入されにくくなる。その結果、低キャリア濃度層 9 に蓄積されるキャリアの量が少なくなる。また、低キャリア濃度層 9 とキャリア蓄積防止層 8 との両方にキャリアが分かれて注入されるので、低キャリア濃度層 9 へ蓄積されるキャリアの量が少なくなる。

## 【0045】

低キャリア濃度層 9 へ蓄積されるキャリアの量が少なくなることにより、低キャリア濃度層 9 の空乏状態が保たれるので、 $n$ -電流ブロック層 10 と  $p$ -クラッド層 6 との間の電気容量が小さく保たれ、半導体レーザ素子の高速動作化が十分に図られる。

## 【0046】

このように、キャリア蓄積防止層 8 のバンドギャップを低キャリア濃度層 9 と  $p$ -クラッド層 6 との中間の値に設定する簡単な構成により、図 1 の半導体レーザ素子の高周波特性が改善される。

## 【0047】

図 3、図 4 および図 5 は図 1 に示した半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

## 【0048】

図 3 に示すように、MOCVD（有機金属化学的気相成長）法により、 $n$ -GaAs 基板 1 上に、 $n$ - $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$  からなる  $n$ -クラッド層 2、 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$  からなるガイド層 3、量子井戸活性層 4、 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$  からなるガイド層 5、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$  からなる  $p$ -クラッド層 6 および  $p$ - $Ga_{0.5}In_{0.5}P$  からなる  $p$ -コンタクト層 7 を順に成長させる。

## 【0049】

図 4 に示すように、 $p$ -コンタクト層 7 上に  $SiO_2$  膜を形成してパターンニングし、ストライプ状の  $SiO_2$  膜 17 を形成する。その後、 $SiO_2$  膜 17 をマスクとして  $p$ -コンタクト層 7 および  $p$ -クラッド層 6 の一部をエッチングにより除去し、リッジ部を形成する。



## 【0050】

さらに、図5に示すように、 $\text{SiO}_2$  膜17を選択成長マスクとして、MOCVD法によりp-クラッド層6上に $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるキャリア蓄積防止層8、 $\text{GaAs}$ からなる低キャリア濃度層9およびn- $\text{GaAs}$ からなるn-電流ブロック層10を順に成長させる。

## 【0051】

$\text{SiO}_2$  膜17を除去した後、図1に示したように、n-電流ブロック層10上およびp-コンタクト層7上にp- $\text{GaAs}$ からなるp-コンタクト層11をMOCVD法により形成し、p-コンタクト層11の表面に $\text{Cr}/\text{Au}$ からなるのp側電極12を形成し、n- $\text{GaAs}$ 基板1の裏面に $\text{AuGe}/\text{Ni}/\text{Au}$ からなるn側電極13を形成する。

## 【0052】

図6は、キャリア蓄積防止層8の膜厚 $t$ を変化させたときの表1の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。ここで遮断周波数とは、測定対象の半導体レーザ素子から出力された正弦波を重畳したレーザ光の振幅が低周波重畳時（本例では重畳周波数が10MHz以下のとき）に比べて3dB低下する周波数である。図6において、○は $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる単層構造のキャリア蓄積防止層8、□は $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 障壁層と $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層8（膜厚 $t$ は井戸層の膜厚の合計値）、△は $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ からなる単層構造のキャリア蓄積防止層8を用いた場合を示している。

## 【0053】

キャリア蓄積防止層8を形成しない場合には遮断周波数が200MHzであったものが、キャリア蓄積防止層8を厚くすることにより遮断周波数が向上し、キャリア蓄積防止層8の厚さ $t$ が10nmを越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ $t$ が約20nmでほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層8の厚さ $t$ は10nm以上が好ましく、遮断周波数の上昇が飽和する20nm以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層8の厚さ $t$ が10nmと20nmの中間の15nm以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0054】

図7は図1の半導体レーザ素子のキャリア蓄積防止層8にドーピングを行った場合の遮断周波数の改善効果を示す図である。横軸はp-クラッド層6のキャリア濃度に対するキャリア蓄積防止層8のキャリア濃度の比を示し、縦軸は遮断周波数を示す。この半導体レーザ素子のキャリア蓄積防止層8はp型GaInPからなり、厚さ $t$ が25nmである。

【0055】

図7に示すように、キャリア蓄積防止層8のキャリア濃度がp-クラッド層6のキャリア濃度よりも高い場合には遮断周波数の改善効果が小さいが、キャリア蓄積防止層8のキャリア濃度がp-クラッド層6のキャリア濃度よりも低い場合には遮断周波数の改善効果が大きい。したがって、キャリア蓄積防止層8のキャリア濃度はp-クラッド層6よりも低いことが好ましい。

【0056】

(2) 第2の実施の形態

次に、本発明の第2の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0057】

第2の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図1に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表2に示す。

【0058】

【表 2】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaAs基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		3
	量子井戸 活性層	Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> As井戸層	5		15
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> As障壁層	5		16
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		5
		p-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1500	$1 \times 10^{18}$	6
		p-GaAsコンタクト層	200	$4 \times 10^{18}$	7
		Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> Asキャリア蓄積防止層	t		8
		GaAs低キャリア濃度層	1000		9
		n-GaAs電流ブロック層	500	$5 \times 10^{17}$	10
		p-GaAsコンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	11
		p側電極	300		12
n側電極	300		13		

【0059】

図 8 は、キャリア蓄積防止層 8 の膜厚  $t$  を変化させたときの表 2 の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図 8 において、○は  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  からなる単層構造のキャリア蓄積防止層 8、□は  $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$  障壁層と  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層 8（膜厚  $t$  は井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0060】

キャリア蓄積防止層 8 を形成しない場合には遮断周波数が 400 MHz であったものが、キャリア蓄積防止層 8 を厚くすることにより遮断周波数が向上し、キ

キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  が 10 nm を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約 20 nm でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  は 10 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  が 10 nm と 20 nm の中間の 15 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0061】

(3) 第 3 の実施の形態

次に、本発明の第 3 の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0062】

第 3 の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図 1 に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表 3 に示す。

【0063】

【表 3】

層の名称	組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層	n-GaN基板		$1 \times 10^{18}$	1
	n-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	1000	$3 \times 10^{17}$	2
	GaNナイト層	30		3
	量子井戸 活性層	In <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N井戸層	5	15
		In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N障壁層	5	16
	GaNナイト層	30		5
	p-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	1000	$2 \times 10^{17}$	6
	p-GaNコンタクト層	200	$3 \times 10^{17}$	7
	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> Nキャリア蓄積防止層	t		8
	GaN低キャリア濃度層	800		9
	n-GaN電流ブロック層	200	$5 \times 10^{17}$	10
	p-GaNコンタクト層	3000	$8 \times 10^{17}$	11
	p側電極	300		12
	n側電極	300		13

【0064】

図9は、キャリア蓄積防止層8の膜厚tを変化させたときの表3の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図9において、○はAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nからなる単層構造のキャリア蓄積防止層8、□はAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N障壁層とAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層8（膜厚tは井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0065】

キャリア蓄積防止層8を形成しない場合には遮断周波数が320MHzであったものが、キャリア蓄積防止層8を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上

し、キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  が  $10\text{ nm}$  を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約  $20\text{ nm}$  でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  は  $10\text{ nm}$  以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する  $20\text{ nm}$  以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 8 の厚さ  $t$  が  $10\text{ nm}$  と  $20\text{ nm}$  の中間の  $15\text{ nm}$  以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0066】

#### (4) 第 4 の実施の形態

図 10 は本発明の第 4 の実施の形態における半導体レーザ素子を示す模式的断面図である。

【0067】

図 10 に示す半導体レーザ素子においては、図 1 に示した半導体レーザ素子と同様、 $n\text{-GaAs}$  基板 1 上に各層 2～5 が形成されている。

【0068】

ガイド層 5 上に  $p\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる厚さ  $200\text{ nm}$  の  $p\text{-クラッド層 61}$ 、および  $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなるキャリア蓄積防止層 62 が順に形成されている。 $p\text{-クラッド層 61}$  のキャリア濃度は  $3 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  である。

【0069】

$p\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなるリッジ形状の厚さ  $1300\text{ nm}$  の  $p\text{-クラッド層 63}$  がキャリア蓄積防止層 62 上に形成されている。 $p\text{-クラッド層 63}$  のキャリア濃度は  $3 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  である。 $p\text{-クラッド層 63}$  の上面に  $p\text{-Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  からなる  $p\text{-コンタクト層 7}$  が形成されている。

【0070】

$p\text{-コンタクト層 7}$  の上面にストライプ状開口部を有する  $\text{GaAs}$  からなる厚さ  $1000\text{ nm}$  の低キャリア濃度層 9 が  $p\text{-クラッド層 63}$  の両側のキャリア蓄積防止層 62 上および  $p\text{-クラッド層 63}$  の側面に形成されている。

【0071】

さらに、リッジ部の上面にストライプ状開口部を有する  $n\text{-GaAs}$  からなる

厚さ 500 nm の n-電流ブロック層 10 が低キャリア濃度層 9 上に形成されている。p-コンタクト層 7 上および n-電流ブロック層 10 上に、p-コンタクト層 11 が形成されている。

【0072】

上記の構成をまとめて表 4 に示す。

【0073】

【表 4】

層の名称	組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 (cm <sup>-3</sup> )	符号
発光層	n-GaAs 基板		$1 \times 10^{18}$	1
	n-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P クラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
	(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P ガイド層	30		3
	量子井戸活性層	Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P 井戸層	5	15
		(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P 障壁層	5	16
	(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P ガイド層	30		5
	p-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P クラッド層	200	$3 \times 10^{17}$	61
	p-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P クラッド層	1300	$3 \times 10^{17}$	63
	p-Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P コンタクト層	200	$2 \times 10^{18}$	7
	Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P キャリヤ蓄積防止層	t		62
	GaAs 低キャリア濃度層	1000		9
	n-GaAs 電流ブロック層	500	$8 \times 10^{17}$	10
	p-GaAs コンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	11
	p 側電極	300		12
	n 側電極	300		13

【0074】

図 11、図 12 および図 13 は図 10 に示した半導体レーザ素子の製造方法を

示す模式的工程断面図である。

【0075】

図11に示すように、MOCVD法により、 $n$ -GaAs基板1上に、 $n$ - $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ からなる $n$ -クラッド層2、 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ からなるガイド層3、量子井戸活性層4、 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ からなるガイド層5、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ からなる $p$ -クラッド層61、 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ からなるキャリア蓄積防止層62、 $p$ - $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ からなる $p$ -クラッド層63および $p$ - $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ からなる $p$ -コンタクト層7を順に成長させる。

【0076】

図12に示すように、 $p$ -コンタクト層7上に $SiO_2$ 膜を形成してパターンニングし、ストライプ状の $SiO_2$ 膜64を形成する。その後、 $SiO_2$ 膜64をマスクとして $p$ -コンタクト層7および $p$ -クラッド層63をエッチングにより除去し、リッジ部を形成する。

【0077】

さらに、図13に示すように、 $SiO_2$ 膜64を選択成長マスクとして、MOCVD法によりリッジ部両側のキャリア蓄積防止層62上および $p$ -クラッド層63の側面にGaAsからなる低キャリア濃度層9および $n$ -GaAsからなる $n$ -電流ブロック層10を順に成長させる。

【0078】

$SiO_2$ 膜64を除去した後、図10に示したように、 $n$ -電流ブロック層10上および $p$ -コンタクト層7上に、 $p$ -GaAsからなる $p$ -コンタクト層11をMOCVD法により形成し、 $p$ -コンタクト層11の表面にCr/Auからなる $p$ 側電極12を形成し、 $n$ -GaAs基板1の裏面にAuGe/Ni/Auからなる $n$ 側電極13を形成する。

【0079】

図14は、キャリア蓄積防止層62の膜厚 $t$ を変化させたときの表4の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図14において、○は $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ からなる単層構造のキャリア蓄積防止層62、□は $(Al_{0.7}G$



$a_{0.3} \text{ ) }_{0.5} \text{ In}_{0.5} \text{ P}$  障壁層と  $\text{Ga}_{0.5} \text{ In}_{0.5} \text{ P}$  井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層 6 2 (膜厚  $t$  は井戸層の膜厚の合計値)、 $\Delta$  は  $\text{Al}_{0.45} \text{ Ga}_{0.55} \text{ As}$  からなる単層構造のキャリア蓄積防止層 6 2 を用いた場合を示している。

【0080】

キャリア蓄積防止層 6 2 を形成しない場合には遮断周波数が 200 MHz であつたものが、キャリア蓄積防止層 6 2 を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層 6 2 の厚さ  $t$  が 15 nm を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約 20 nm でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 6 2 の厚さ  $t$  は 15 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 6 2 の厚さ  $t$  が 15 nm と 20 nm の中間の 18 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0081】

(5) 第 5 の実施の形態

次に、本発明の第 5 の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0082】

第 5 の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図 10 に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表 5 に示す。

【0083】

【表 5】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaAs基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		3
	量子井戸 活性層	Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> As井戸層	5		15
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> As障壁層	5		16
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		5
		p-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	200	$1 \times 10^{18}$	61
		p-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1300	$1 \times 10^{18}$	63
		p-GaAsコンタクト層	200	$4 \times 10^{18}$	7
		Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> Asキャリア蓄積防止層	t		62
		GaAs低キャリア濃度層	1000		9
		n-GaAs電流ブロック層	500	$5 \times 10^{17}$	10
		p-GaAsコンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	11
		p側電極	300		12
		n側電極	300		13

【0084】

図15は、キャリア蓄積防止層62の膜厚tを変化させたときの表5の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図15において、○はAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asからなる単層構造のキャリア蓄積防止層62、□はAl<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As障壁層とAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層62（膜厚tは井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0085】

キャリア蓄積防止層 62 を形成しない場合には遮断周波数が 400 MHz であつたものがキャリア蓄積防止層 62 を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  が 15 nm を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約 20 nm でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  は 15 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  が 15 nm と 20 nm の中間の 18 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0086】

(6) 第 6 の実施の形態

次に、本発明の第 6 の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0087】

第 6 の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図 10 に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表 6 に示す。

【0088】

【表 6】

層の名称	組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層	n-GaN基板		$1 \times 10^{18}$	1
	n-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	1000	$3 \times 10^{17}$	2
	GaNがけ層	30		3
	量子井戸 活性層	In <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N井戸層	5	15
		In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N障壁層	5	16
	GaNがけ層	30		5
	p-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	100	$2 \times 10^{17}$	61
	p-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	900	$2 \times 10^{17}$	63
	p-GaN第1コンタクト層	200	$3 \times 10^{17}$	7
	Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> Nキャリア蓄積防止層	t		62
	GaN低キャリア濃度層	800		9
	n-GaN電流ブロック層	200	$5 \times 10^{17}$	10
	p-GaN第2コンタクト層	3000	$8 \times 10^{17}$	11
	p側電極	300		12
	n側電極	300		13

【0089】

図16は、キャリア蓄積防止層62の膜厚tを変化させたときの表6の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図16において、○はAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nからなる単層構造のキャリア蓄積防止層62、□はAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N障壁層とAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層62（膜厚tは井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0090】

キャリア蓄積防止層 62 を形成しない場合には遮断周波数が 320 MHz であったものが、キャリア蓄積防止層 62 を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  が 15 nm を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約 20 nm でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  は 15 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 62 の厚さ  $t$  が 15 nm と 20 nm の中間の 18 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0091】

(7) 第7の実施の形態

図 17 は本発明の第 7 の実施の形態における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0092】

図 17 に示す半導体レーザ素子においては、図 1 に示した半導体レーザ素子と同様、 $n$ -GaAs 基板 1 上に各層 2～5 が形成されている。

【0093】

ガイド層 5 上に、 $p$ -( $Al_{0.7}Ga_{0.3}$ ) $_{0.5}In_{0.5}P$  からなる厚さ 200 nm の  $p$ -クラッド層 91 が形成されている。 $p$ -クラッド層 91 のキャリア濃度は  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である。

【0094】

$p$ -クラッド層 91 上に、 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$  からなるキャリア蓄積防止層 92、GaAs からなる厚さ 1000 nm の低キャリア濃度層 93 および  $n$ -GaAs からなる厚さ 500 nm の  $n$ -電流ブロック層 94 が順に形成されている。

【0095】

キャリア蓄積防止層 92、低キャリア濃度層 93 および  $n$ -電流ブロック層 94 の中央部の領域が除去されてストライプ状開口部が形成されている。 $n$ -電流ブロック層 94 のキャリア濃度は  $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である。低キャリア濃度層 93 のキャリア濃度は  $n$ -電流ブロック層 94 のキャリア濃度よりも低い。

【0096】

ストライプ状開口部を埋め込むように  $p$ -クラッド層 91 上および  $n$ -電流ブ

ロック層 94 上に  $p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$  からなる厚さ 1300 nm の  $p$ -クラッド層 95 が形成されている。 $p$ -クラッド層 95 のキャリア濃度は  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である。

【0097】

$p-Ga_{0.5}In_{0.5}P$  からなる厚さ 200 nm の  $p$ -コンタクト層 96 が  $p$ -クラッド層 95 上に形成されている。 $p-GaAs$  からなる厚さ 3000 nm の  $p$ -コンタクト層 97 が  $p$ -コンタクト層 96 上に形成されている。 $p$ -コンタクト層 96 のキャリア濃度は  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である。 $p$ -コンタクト層 97 のキャリア濃度は  $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  である。

【0098】

上記の構成をまとめて表 7 に示す。

【0099】

【表 7】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaAs基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
		(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pガイド層	30		3
	量子井戸 活性層	Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P井戸層	5		15
		(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P障壁層	5		16
		(Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pガイド層	30		5
		p-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pクラッド層	200	$3 \times 10^{17}$	91
		p-(Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pクラッド層	1300	$3 \times 10^{17}$	95
		Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pキャリア蓄積防止層	t		92
		GaAs低キャリア濃度層	1000		93
		n-GaAs電流ブロック層	500	$8 \times 10^{17}$	94
		p-Ga <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> Pコンタクト層	200	$2 \times 10^{18}$	96
		p-GaAsコンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	97
		p側電極	300		12
		n側電極	300		13

【0100】

図18および図19は図17に示した半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【0101】

図18に示すように、MOCVD法により、n-GaAs基板1上に、n-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pからなるn-クラッド層2、(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pからなる厚さ30nmのガイド層3、量子井戸活性層4、(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Pからなる厚さ30nmのガイド層5、p-

( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$ ) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるp-クラッド層91、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるキャリア蓄積防止層92、 $\text{GaAs}$ からなる低キャリア濃度層93、および $\text{n-GaAs}$ からなるn-電流ブロック層94を順に成長させる。

#### 【0102】

n-電流ブロック層94上にマスク（図示せず）を形成し、ストライプ状開口部を有するようにパターンニングする。その後、図19に示すように、n-電流ブロック層94、低キャリア濃度層93およびキャリア蓄積防止層92の中央部をエッチングにより除去し、ストライプ状開口部を形成する。

#### 【0103】

さらに、図17に示したように、MOCVD法によりn-電流ブロック層94上およびストライプ状開口部内のp-クラッド層91上にp- $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるp-クラッド層95、p- $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなるp-コンタクト層96、およびp- $\text{GaAs}$ からなるp-コンタクト層97を順に形成する。p-コンタクト層97の表面に $\text{Cr/Au}$ からなるp側電極12を形成し、 $\text{n-GaAs}$ 基板1の裏面に $\text{AuGe/Ni/Au}$ からなるn側電極13を形成する。

#### 【0104】

図20は、キャリア蓄積防止層92の膜厚 $t$ を変化させたときの表7の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図20において、○は $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる単層構造のキャリア蓄積防止層92、□は $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 障壁層と $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層92（膜厚 $t$ は井戸層の膜厚の合計値）、△は $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ からなる単層構造のキャリア蓄積防止層92を用いた場合を示している。

#### 【0105】

キャリア蓄積防止層92を形成しない場合には遮断周波数が200MHzであったものがキャリア蓄積防止層92を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層92の厚さ $t$ が10nmを越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ $t$ が約20nmでほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止



層 92 の厚さ  $t$  は 15 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 92 の厚さ  $t$  が 15 nm と 20 nm の中間の 18 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0106】

(8) 第 8 の実施の形態

次に、本発明の第 8 の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0107】

第 8 の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図 17 に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表 8 に示す。

【0108】

【表 8】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaAs基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1500	$3 \times 10^{17}$	2
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		3
	量子井戸 活性層	Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> As井戸層	5		15
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> As障壁層	5		16
		Al <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> Asガイド層	30		5
		p-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	200	$1 \times 10^{18}$	91
		p-Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> Asクラッド層	1300	$1 \times 10^{18}$	95
		Al <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> Asキャリア蓄積防止層	t		92
		GaAs低キャリア濃度層	1000		93
		n-GaAs電流ブロック層	500	$5 \times 10^{17}$	94
		p-GaAsコンタクト層	200	$4 \times 10^{18}$	96
		p-GaAsコンタクト層	3000	$3 \times 10^{19}$	97
		p側電極	300		12
		n側電極	300		13

【0109】

図21は、キャリア蓄積防止層92の膜厚tを変化させたときの表8の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図21において、○はAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Asからなる単層構造のキャリア蓄積防止層92、□はAl<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As障壁層とAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層92（膜厚tは井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0110】

キャリア蓄積防止層を形成しない場合には遮断周波数が400MHzであったものがキャリア蓄積防止層92を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層92の厚さ $t$ が15nmを越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ $t$ が20nm以上のところでほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層92の厚さ $t$ は15nm以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する約20nmがさらに好ましい。キャリア蓄積防止層92の厚さ $t$ が15nmと20nmの中間の18nm以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0111】

(9) 第9の実施の形態

次に、本発明の第9の実施の形態における半導体レーザ素子について説明する。

【0112】

第9の実施の形態の半導体レーザ素子の構成は、図17に示した構成と同様であり、各層の材料、膜厚およびキャリア濃度が異なる。本実施の形態の半導体レーザ素子の各層の材料、膜厚およびキャリア濃度を表9に示す。

【0113】

【表 9】

層の名称		組成と層の名称	層厚 (nm)	キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	符号
発光層		n-GaN基板		$1 \times 10^{18}$	1
		n-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	1000	$3 \times 10^{17}$	2
		GaNカバ層	30		3
	量子井戸 活性層	In <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> N井戸層	5		15
		In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N障壁層	5		16
		GaNカバ層	30		5
		p-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	100	$2 \times 10^{17}$	91
		p-Al <sub>0.15</sub> Ga <sub>0.85</sub> Nクラッド層	900	$2 \times 10^{17}$	95
		Al <sub>0.07</sub> Ga <sub>0.93</sub> Nキャリア蓄積防止層	t		92
		GaN低キャリア濃度層	800		93
		n-GaN電流ブロック層	200	$5 \times 10^{17}$	94
		p-GaN第1コンタクト層	200	$3 \times 10^{17}$	96
		p-GaN第2コンタクト層	3000	$8 \times 10^{17}$	97
		p側電極	300		12
		n側電極	300		13

【0114】

図22は、キャリア蓄積防止層92の膜厚tを変化させたときの表9の半導体レーザ素子の遮断周波数の測定結果を示す図である。図22において、○はAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nからなる単層構造のキャリア蓄積防止層92、□はAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N障壁層とAl<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N井戸層とを交互に有する超格子構造のキャリア蓄積防止層92（膜厚tは井戸層の膜厚の合計値）を用いた場合を示している。

【0115】

キャリア蓄積防止層 92 を形成しない場合には遮断周波数が 320 MHz であつたものが、キャリア蓄積防止層 92 を厚くすることにより遮断周波数が徐々に向上し、キャリア蓄積防止層 92 の厚さ  $t$  が 15 nm を越えると遮断周波数が顕著に向上し、厚さ  $t$  が約 20 nm でほぼ飽和する。したがって、キャリア蓄積防止層 92 の厚さ  $t$  は 15 nm 以上が好ましく、遮断周波数の向上が飽和する 20 nm 以上がさらに好ましい。キャリア蓄積防止層 92 の厚さ  $t$  が 15 nm と 20 nm の中間の 18 nm 以上であれば十分な高周波特性の改善効果がある。

【0116】

なお、活性層、キャリア蓄積防止層、低キャリア濃度層および電流ブロック層の材料は、上記実施の形態に限定されない。例えば、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{y1}In_{1-y1}P$  からなる活性層、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{y2}In_{1-y2}P$  または  $Al_{x2}Ga_{1-x2}As$  からなるキャリア蓄積防止層、 $(Al_{x3}Ga_{1-x3})_{y3}In_{1-y3}P$  または  $Al_{x3}Ga_{1-x3}As$  からなる低キャリア濃度層および  $(Al_{x4}Ga_{1-x4})_{y4}In_{1-y4}P$  または  $Al_{x4}Ga_{1-x4}As$  からなる電流ブロック層の任意の組み合わせを用いることができる。ここで、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$ 、 $x4$ 、 $y1$ 、 $y2$ 、 $y3$  および  $y4$  はそれぞれ 0 以上 1 以下である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 2】

図 1 の半導体レーザ素子における p-クラッド層、キャリア蓄積防止層および低キャリア濃度層の価電子帯のエネルギーバンド図である。

【図 3】

図 1 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 4】

図 1 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 5】

図 1 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 6】

第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 7】

第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子のキャリア蓄積防止層にドーピングを行った場合の遮断周波数の改善効果を示す図である。

【図 8】

第 2 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 9】

第 3 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示すための図である。

【図 1 0】

本発明の第 4 の実施の形態における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 1 1】

図 1 0 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 1 2】

図 1 0 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 1 3】

図 1 0 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 1 4】

第 4 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 1 5】

第 5 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 1 6】

第 6 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 1 7】

本発明の第 7 の実施の形態における半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【図 1 8】

図 1 7 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 1 9】

図 1 7 の半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的工程断面図である。

【図 2 0】

第 7 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 2 1】

第 8 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 2 2】

第 9 の実施の形態の半導体レーザ素子の遮断周波数とキャリア蓄積防止層の厚さとの関係の測定結果を示す図である。

【図 2 3】

従来の半導体レーザ素子の構成を示す模式的断面図である。

【図 2 4】

複素屈折率導波構造の半導体レーザ素子における p 型クラッド層および低キャリア濃度層の価電子帯のエネルギーバンド図である。

【符号の説明】

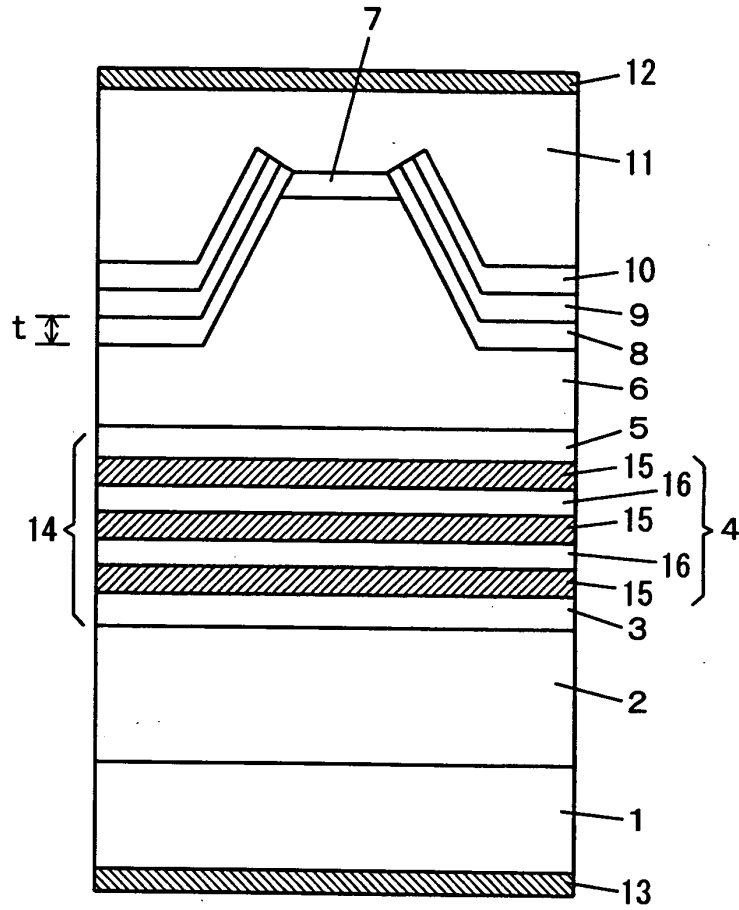
8, 6 2, 9 2    キャリア蓄積防止層

9, 9 3    低キャリア濃度層

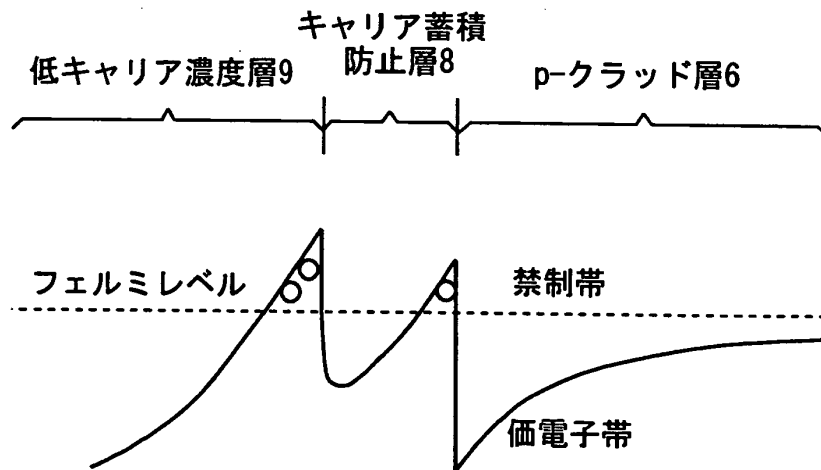
1 0, 9 4    n-電流ブロック層

【書類名】 図面

【図 1】

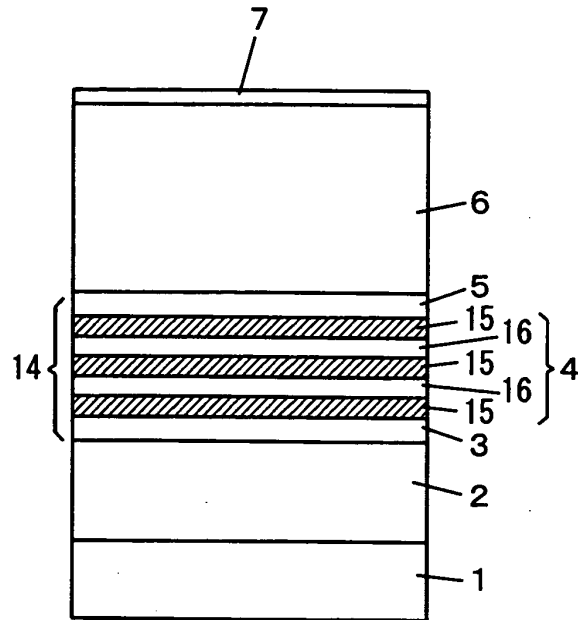


【図 2】

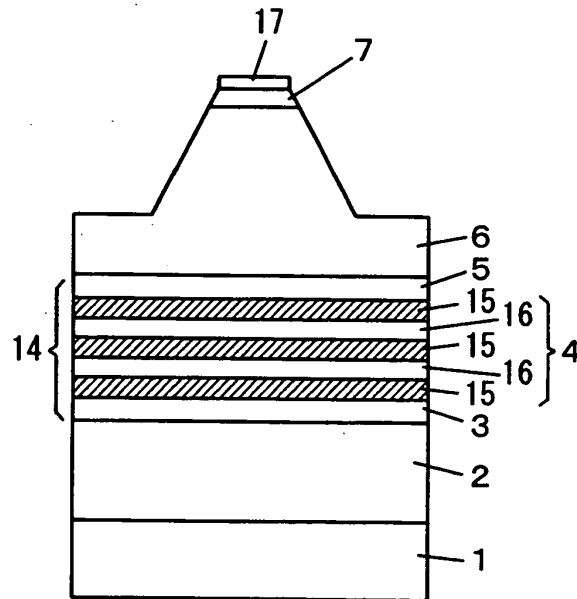




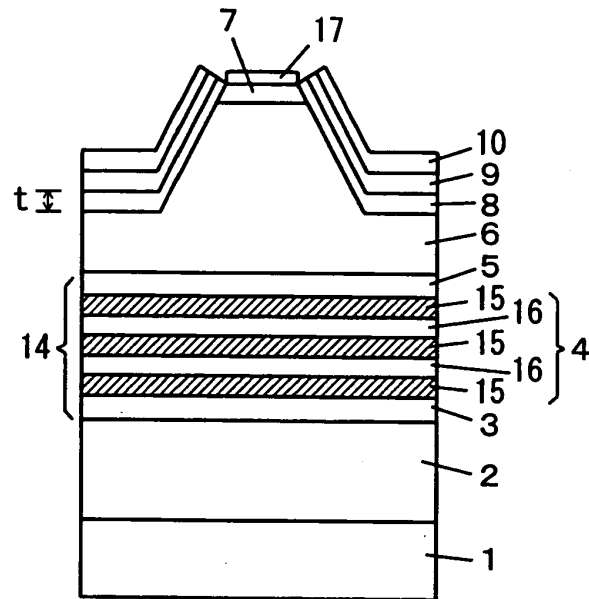
【図 3】



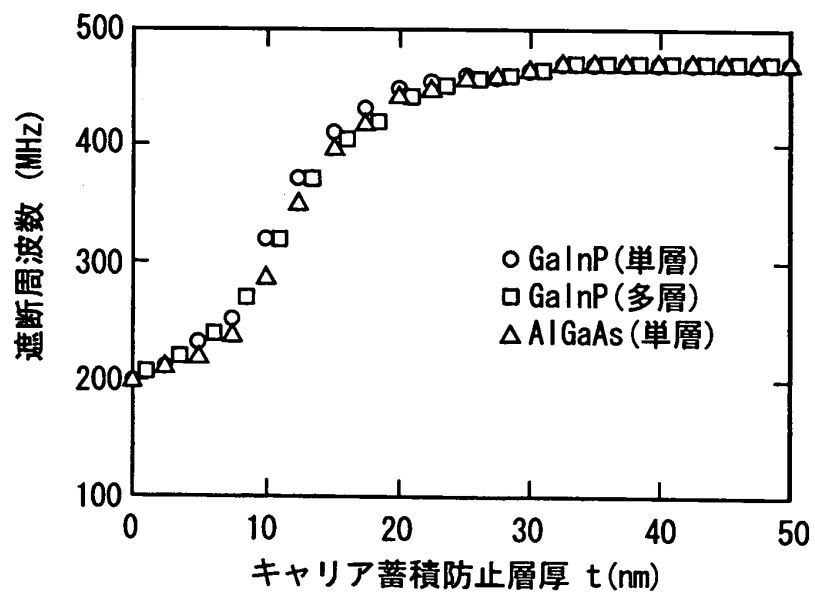
【図 4】



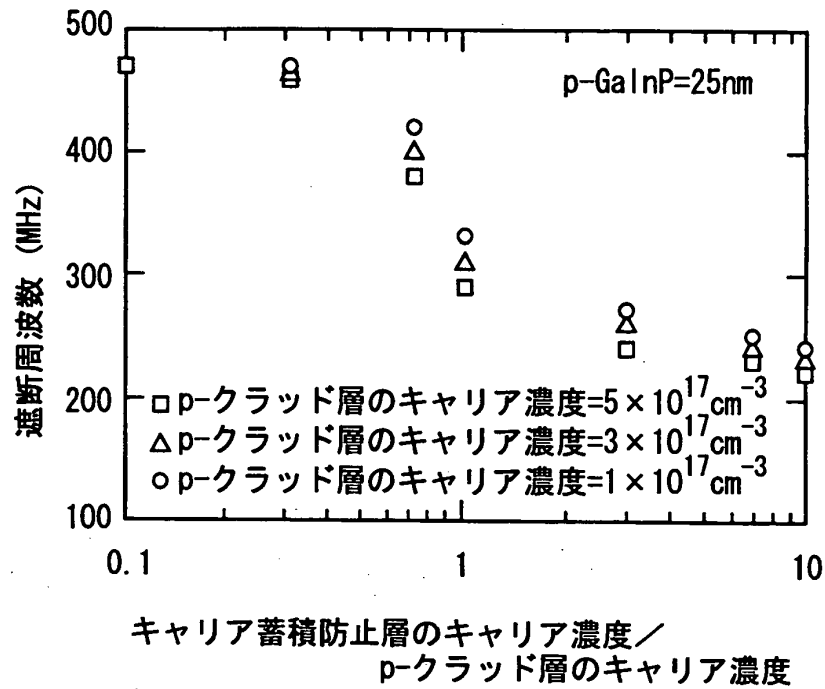
【図 5】



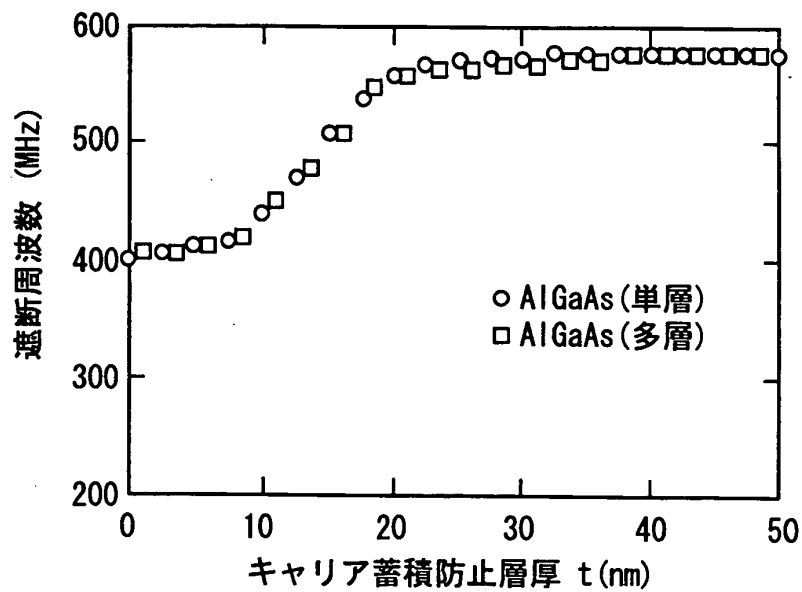
【図 6】



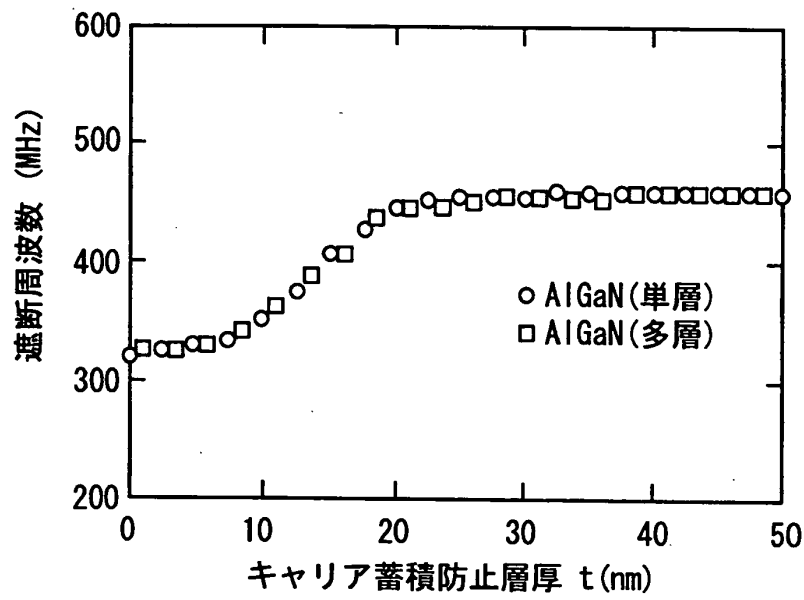
【図 7】



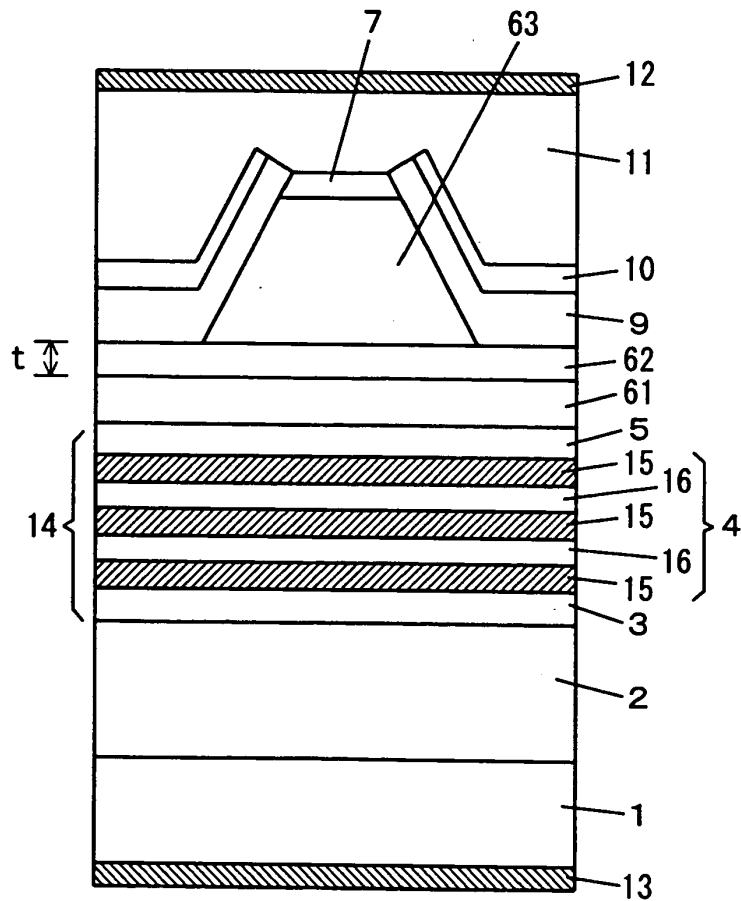
【図 8】



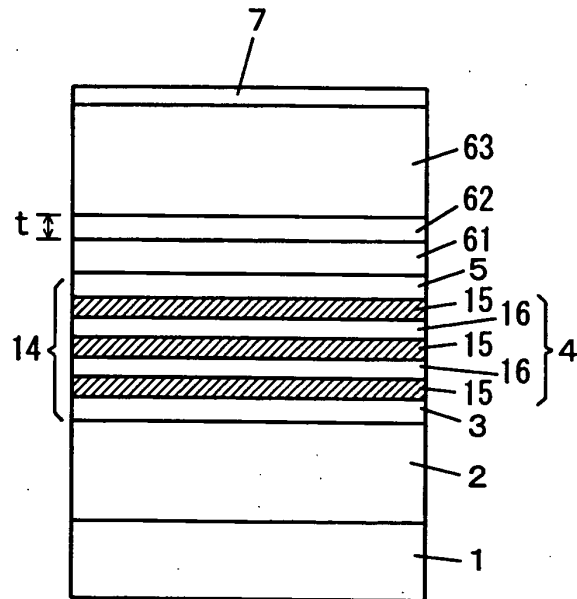
【図 9】



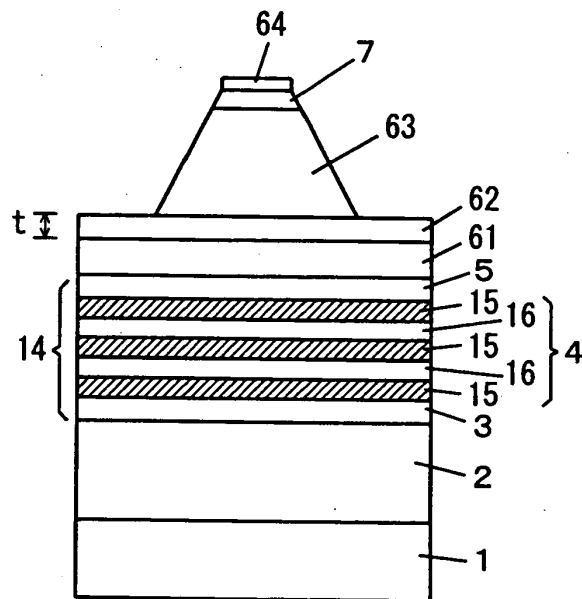
【図 10】



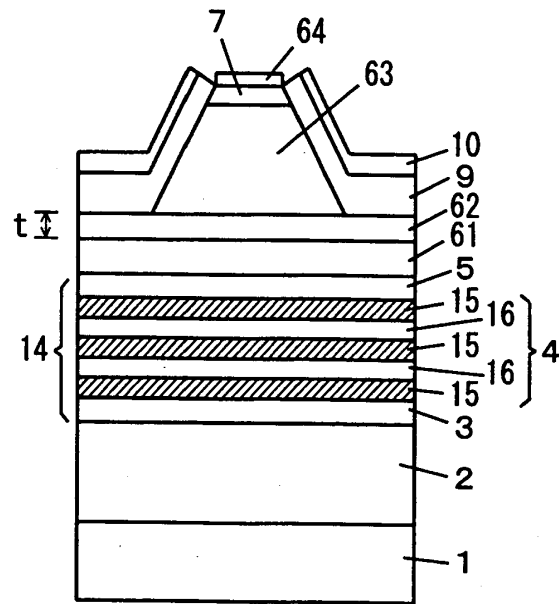
【図 1 1】



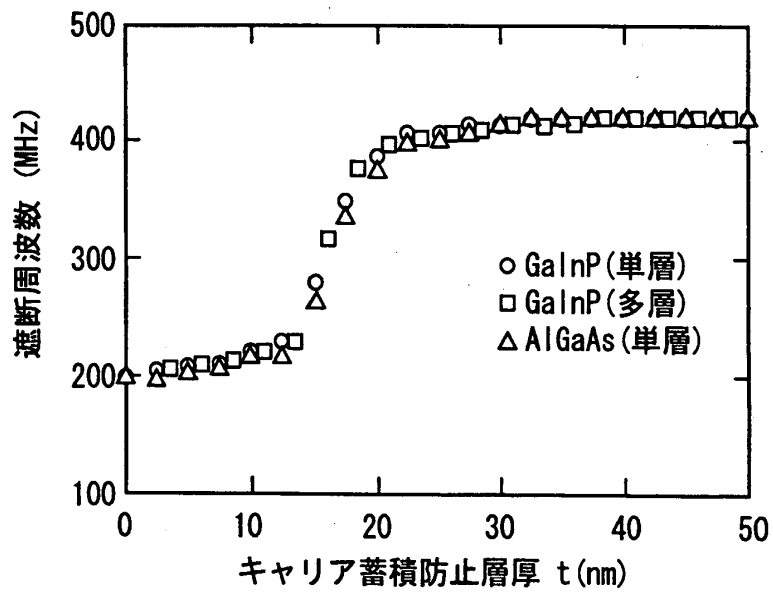
【図 1 2】



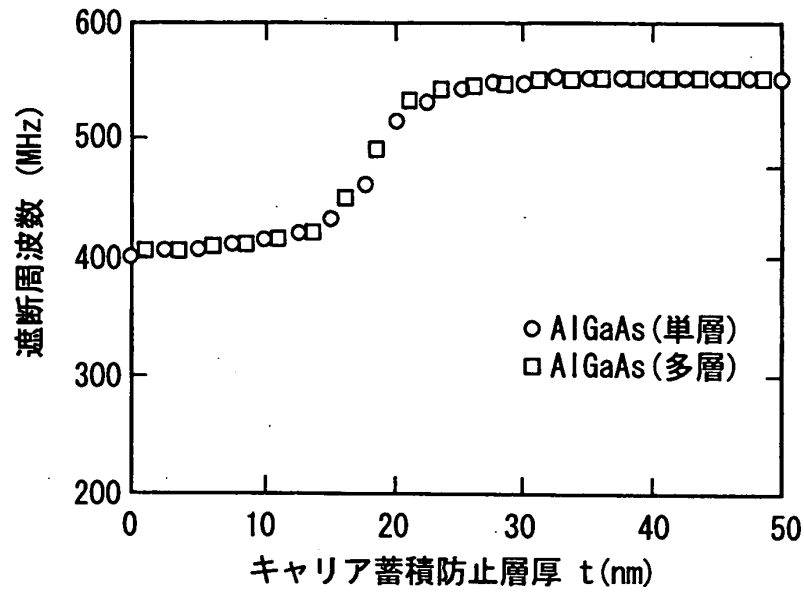
【図 1 3】



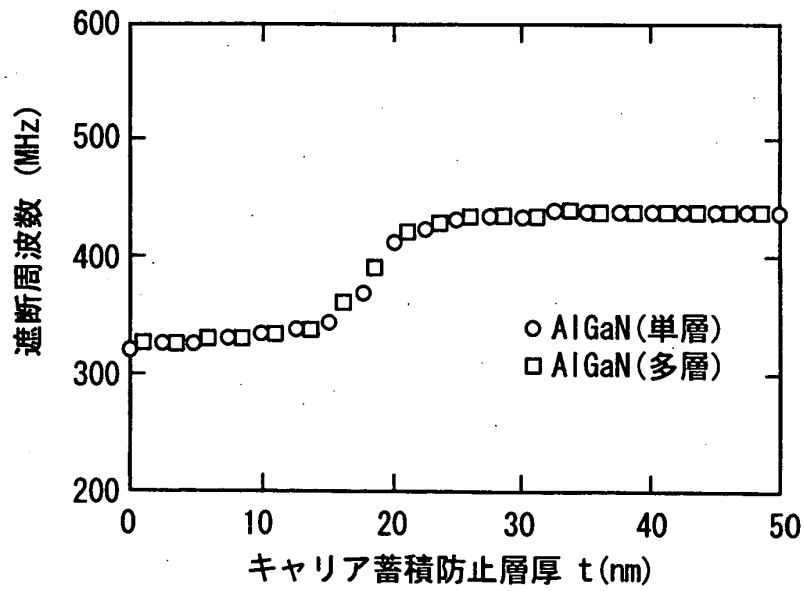
【図 1 4】



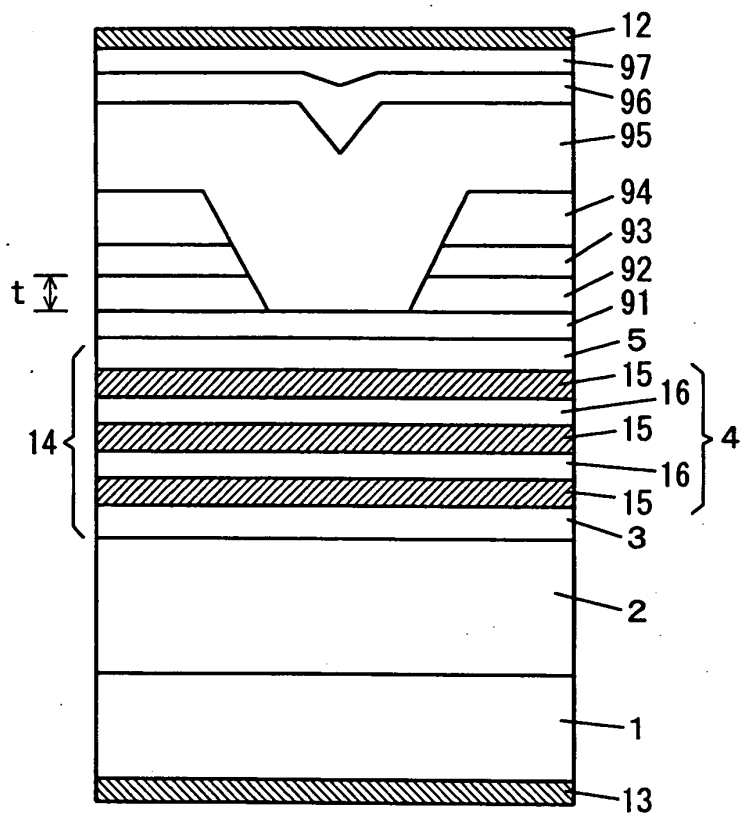
【図 15】



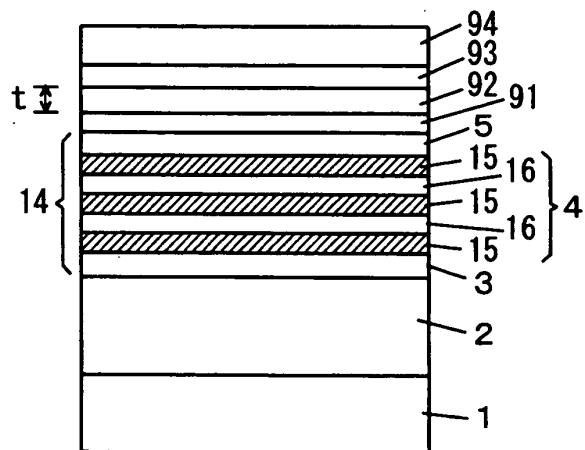
【図 16】



【図 1 7】

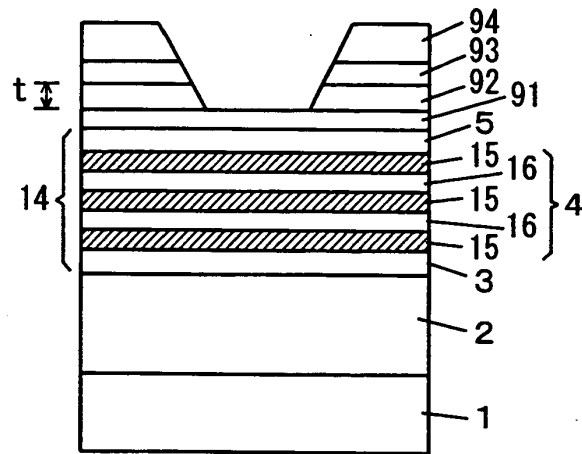


【図 1 8】

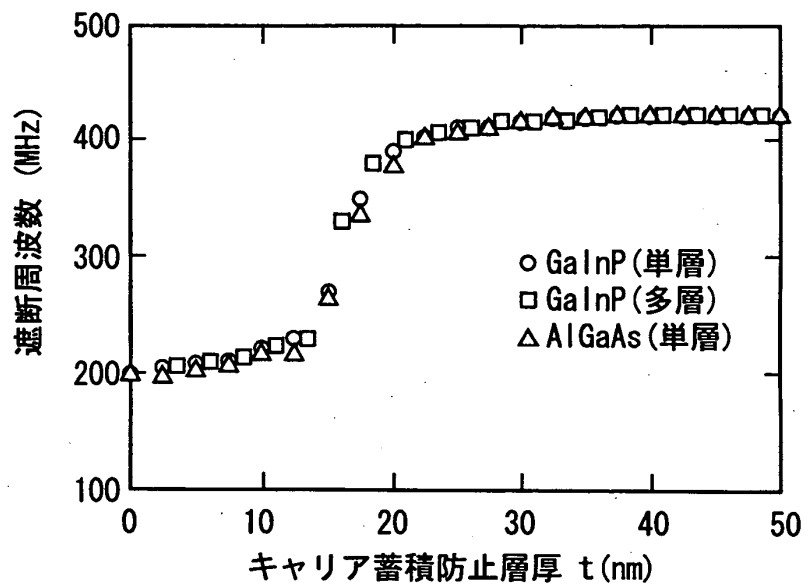




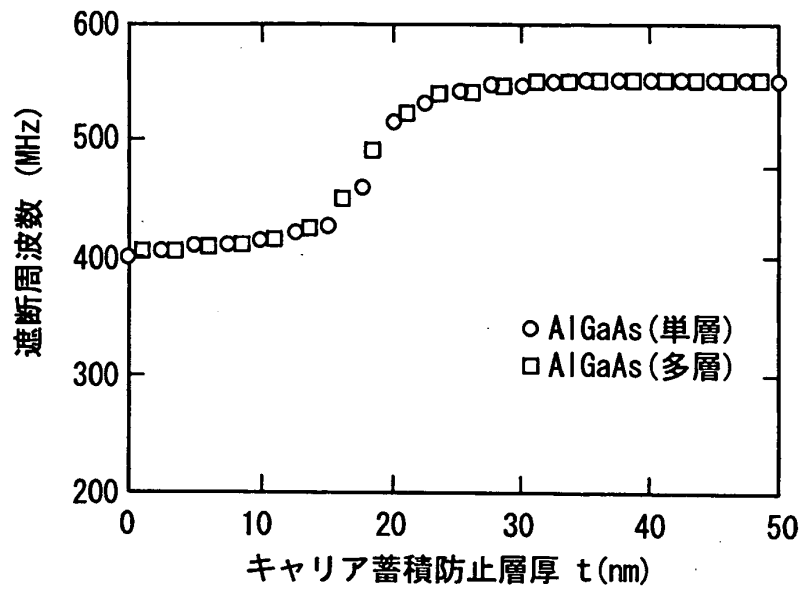
【図 1 9】



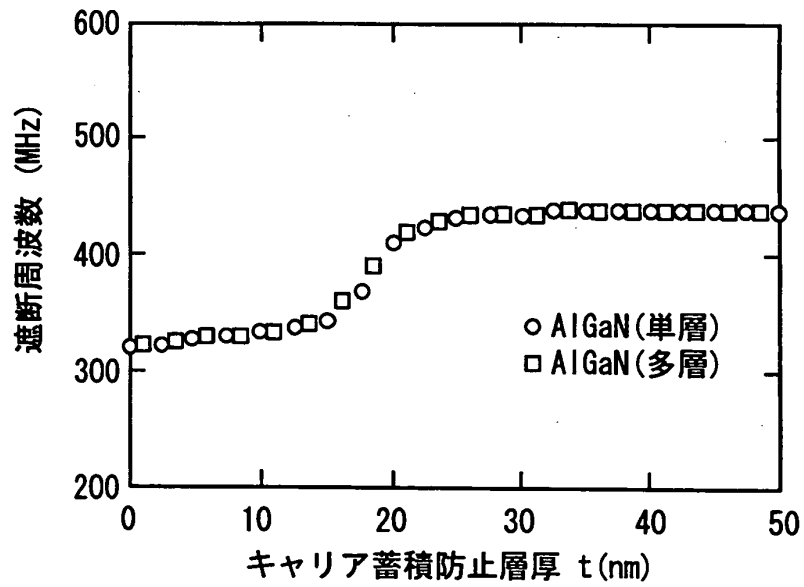
【図 2 0】



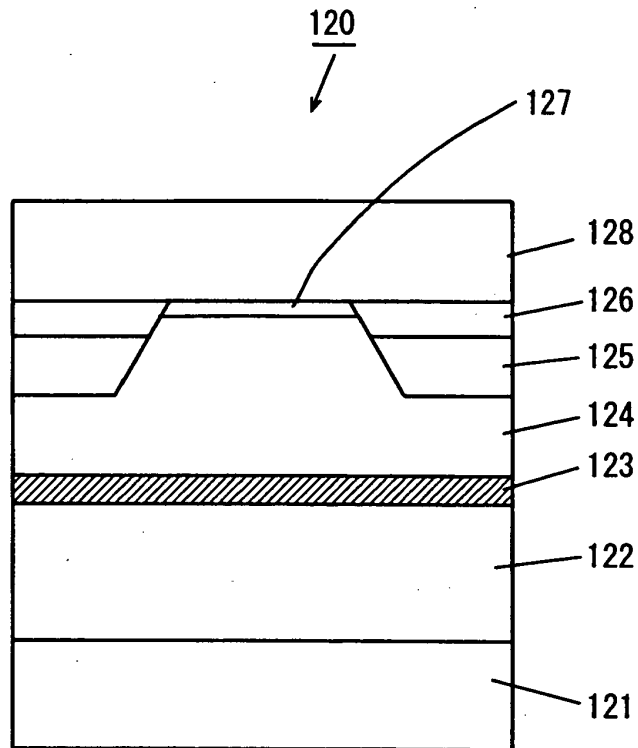
【図 2 1】



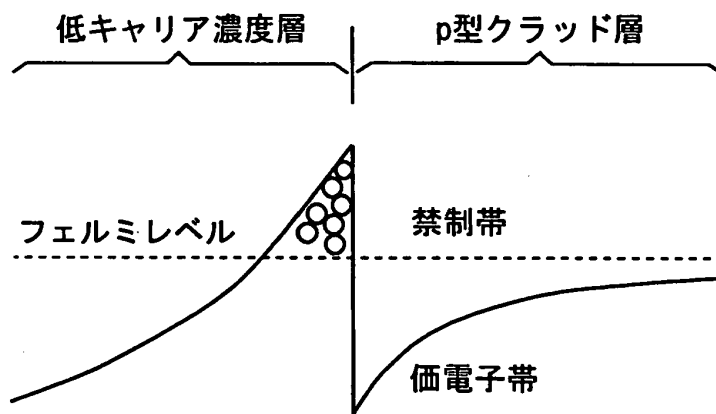
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速動作化が十分に図られた半導体レーザ素子を提供することである。

【解決手段】 リッジ部を有する p-クラッド層 6 上に、リッジ部の上面にストライプ状開口部を有するキャリア蓄積防止層 8、低キャリア濃度層 9 および n-電流ブロック層 10 が順に形成されている。低キャリア濃度層 9 は n-電流ブロック層 10 よりも低いキャリア濃度を有する。キャリア蓄積防止層 8 のバンドギャップは、p-クラッド層 6 のバンドギャップと低キャリア濃度層 9 のバンドギャップとの中間に設定される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日 1993年10月20日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号  
氏 名 三洋電機株式会社